

18 AUG 2004 505, 345

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESEN (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
28. August 2003 (28.08.2003)

PCT

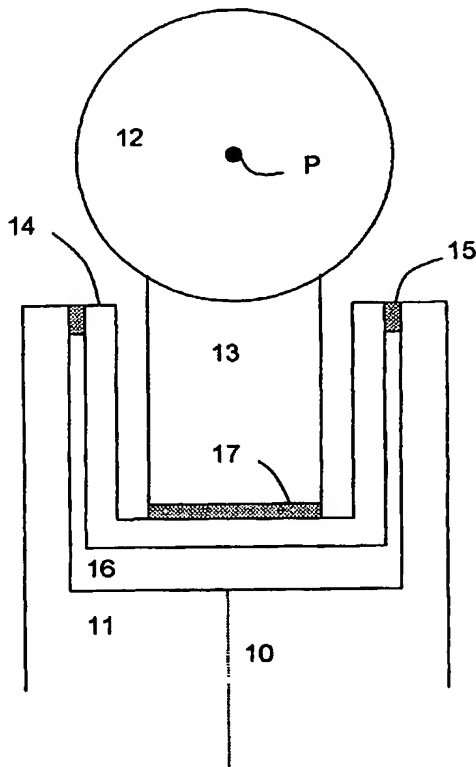
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/071225 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: G01B 21/04, 1/00, 3/30 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): METRONOM GMBH INDUSTRIAL MEASUREMENTS [DE/DE]; Hauptstrasse 17-19, 55120 Mainz (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/01508 (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BLONDEAU, Jean [DE/DE]; Raiffeisenstrasse 4, 74889 Sinsheim-Dühren (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 14. Februar 2003 (14.02.2003) (74) Anwalt: WEIGELT, Udo; Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser, Maximilianstrasse 58, 80538 München (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 02003852.7 20. Februar 2002 (20.02.2002) EP

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: THERMALLY COMPENSATED TEST PIECE FOR COORDINATE MEASURING MACHINES

(54) Bezeichnung: THERMISCH KOMPENSIERTER PRÜFKÖRPER FÜR KOORDINATENMESSMASCHINEN



(57) Abstract: The invention relates to a test piece that comprises at least two shaped probe elements (12) and at least one connecting element (11) for connecting the at least two shaped probe elements. Each connecting element is provided with at least one fastening element for fastening a shaped probe element to an end of the connecting element. The test piece is thermally compensated, i.e. the distance of the shaped probe elements (12) remains constant across a wide temperature range. Thermal compensation is ensured by the fastening element for which, for example, only materials having a positive coefficient of thermal expansion can be used.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen Prüfkörper mit mindestens zwei Antastformelementen (12) und mit mindestens einem Verbindungselement (11) zur Verbindung der mindestens zwei Antastformelemente, wobei jedes Verbindungselement mindestens ein Befestigungselement zur Befestigung eines Antastformelementes an einem Ende des Verbindungselementes aufweist. Der Prüfkörper ist thermisch kompensiert, d.h. der Abstand der Antastformelemente (12) bleibt über einen weiten Temperaturbereich konstant. Die Temperaturkompensation erfolgt durch das Befestigungselement, wobei z.B. nur Materialien mit einem positiven Wärmeausdehnungskoeffizienten verwendet werden können.

WO 03/071225 A1



CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## THERMISCH KOMPENSIERTER PRÜFKÖRPER FÜR KOORDINATENMESSMASCHINEN

### Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Prüfkörper mit mindestens zwei Antastformelementen und mit mindestens einem Verbindungselement zur Verbindung der mindestens zwei Antastformelemente, wobei jedes Verbindungselement mindestens ein Befestigungselement zur Befestigung eines Antastformelements an einem Ende des Verbindungselement aufweist.

### Stand der Technik

Ein derartiger Prüfkörper ist aus DE 199 15 012 bekannt.

Prüfkörper dienen im Allgemeinen der Einstellung und der Überwachung von räumlich positionierenden bzw. messenden Systemen, insbesondere von mobilen Koordinatenmeßsystemen. Sie bestehen gewöhnlich aus Referenzelementen, sogenannten Antastformelementen, die durch Verbindungselemente miteinander verbunden sind und genau definierte Abstände voneinander aufweisen. Ein Koordinatenmeßsystem wird überprüft, indem mit ihm die relativen Positionen der Antastformelemente bestimmt werden. Die somit erhaltenen relativen Abstände werden mit den tatsächlichen Abständen des Prüfkörpers verglichen.

Prüfkörper sollten verschiedene Anforderungen erfüllen. Zum einen sollten sich die Eigenschaften eines Prüfkörpers bei Standardmessbedingungen, also bei Temperaturen zwischen -20 ° Celsius und +70 ° Celsius und einer Luftfeuchtigkeit zwischen 0 % und 100 %, nicht oder nur unwesentlich ändern. Dies bedeutet insbesondere, dass sich die relativen Positionen der Antastformelemente bei Änderungen der Temperatur oder der Luftfeuchtigkeit bei Standardmessbedingungen nicht wesentlich verändern sollten. Zum anderen sollte ein Prüfkörper mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand transportiert werden können, damit er sich zur Überwachung von mobilen Geräten

eignet. Daher darf ein Prüfkörper kein hohes Eigengewicht aufweisen und sollte auch einfach montier- und demontierbar sein.

Der in DE 199 15 012 beschriebene Prüfkörper umfasst kugelförmige Antastformelemente und stabförmige Verbindungselemente. Durch die Antastformelemente und die Verbindungselemente wird insgesamt ein Tetraeder gebildet, an dessen Ecken die Antastformelemente angeordnet sind. Das Material und/oder die Bemessung der Antastformelemente und das Material und/oder die Bemessung der Verbindungselemente sind derart aufeinander abgestimmt, dass sich der Abstand zwischen jeweils zwei Antastpunkten bei Standardmessbedingungen im Wesentlichen nicht ändert. Dies wird dadurch erreicht, dass die Antastformelemente ein Material mit positivem oder negativem Längenausdehnungskoeffizienten und die Verbindungselemente ein Material mit negativem bzw. positivem Längenausdehnungskoeffizienten bei Standardmessbedingungen aufweisen, so dass sich die jeweiligen Längenkontraktionen oder -dilatationen kompensieren. Die Verbindungselemente bestehen beispielsweise aus Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe oder Glaskeramik-Werkstoff.

Ein weiterer Prüfkörper ist aus EP 0 350 532 bekannt. Dort bestehen die Verbindungselemente aus einem Faserverbundwerkstoff, bei dem sich Schichten aus Umfangswicklungen und Kreuzwicklungen abwechseln, wobei die Kreuzwicklungen mit einer Faser gewickelt sind, die einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten hat. Die Kugeln bestehen dagegen aus einem Werkstoff, der einen positiven Wärmeausdehnungskoeffizienten hat.

Ein erster Nachteil des genannten Standes der Technik besteht darin, dass das Material und/oder die Bemessungen des gesamten Verbindungselementes so gewählt werden müssen, dass Ausdehnungen oder Kontraktionen der Antastformelemente kompensiert werden. Somit ist man bei der Wahl des Materials und insbesondere der Abmessungen des Verbindungselementes stark eingeschränkt. Als weiterer Nachteil kommt hinzu, dass speziell Materialien mit negativem Wärmeausdehnungskoeffizienten im Allgemeinen teuer in der Herstellung sind, woraus sich ein hoher Preis für das Prüfungselement ergibt.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, die genannten Nachteile zu überwinden und einen Prüfkörper bereitzustellen, der sich zur genauen Überprüfung insbesondere von mobilen Koordinatenmessgeräten eignet, bei dem aber das Material und/oder die Abmessungen der Verbindungselemente nicht mehr in erster Linie abhängig vom Material und/oder den Abmessungen der Antastformelemente gewählt werden muss.

### Beschreibung der Erfindung

Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Prüfkörper gemäß Anspruch 1. Demgemäß umfasst der erfindungsgemäße Prüfkörper mindestens zwei Antastformelemente und mindestens ein Verbindungselement zur Verbindung der mindestens zwei Antastformelemente, wobei jedes Verbindungselement mindestens ein Befestigungselement zur Befestigung eines Antastformelementes an einem Ende des Verbindungselements aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass Längenveränderungen der mindestens zwei Antastformelemente und/oder des mindestens einen Verbindungselementes durch jedes Befestigungselement derart kompensiert werden, dass der Abstand zwischen jeweils zwei Antastpunkten bei Standardmessbedingungen im Wesentlichen konstant ist.

Der Vorteil eines solchen Prüfkörpers besteht darin, dass Längenveränderungen der Antastformelemente und/oder der Verbindungselemente durch die Befestigungselemente kompensiert werden. Dadurch wird eine hohe Genauigkeit bei der Überprüfung insbesondere von Koordinatenmessgeräten erreicht. Außerdem können Material und/oder Abmessungen der Antastformelemente und der Verbindungselemente weitgehend frei gewählt werden. Falls für ein Befestigungselement ein teures Material mit einem negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten gewählt wird, ist die erforderliche Materialmenge wesentlich geringer, als wenn ein ganzes Verbindungselement daraus gefertigt werden müsste. Somit ergibt sich durch den erfindungsgemäßen Prüfkörper eine wesentlich größere Flexibilität in der Wahl der Materialien und/oder Bemessungen; zusätzlich können die Herstellungskosten verringert werden.

Vorzugsweise umfasst jedes Befestigungselement eines erfindungsgemäßen Prüfkörpers ein Material mit einem positivem oder negativem thermischen Längenausdehnungskoeffizienten und ist die Form und/oder Bemessung jedes Befestigungselementes so gewählt, dass Längenänderungen jedes Antastformelementes und/oder jedes Verbindungselementes bei Standardmessbedingungen kompensiert werden.

Also kann beispielsweise bei Antastformelementen und Verbindungselementen mit positiven thermischen Längenausdehnungskoeffizienten auch jedes Befestigungselement ein Material mit einem positiven Längenausdehnungskoeffizienten umfassen. Die Form und/oder Bemessung des Befestigungselements kann dann so gewählt werden, dass bei einer positiven Temperaturänderung bei Standardmessbedingungen die Längendilatationen der Antastformelemente und/Verbindungselemente kompensiert werden. In diesem Fall entfällt somit die Verwendung von teuren Materialien mit negativem Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorher beschriebenen Prüfkörper umfasst jedes Befestigungselement ein erstes Teilelement aus einem ersten Material und ein zweites Teilelement aus einem zweiten Material, wobei jedes Befestigungselement derart an dem Verbindungselement angeordnet ist und die Form und/oder Bemessung der beiden Teilelemente so gewählt ist, dass Längenänderungen jedes Antastformelementes und/oder jedes Verbindungselements bei Standardmessbedingungen kompensiert werden.

Auf diese vorteilhafte Weise ist es möglich durch ein Befestigungselement, das ein Material mit einem positiven Wärmeausdehnungskoeffizienten umfasst, Längenveränderungen von Antastformelementen und/oder Verbindungselementen mit positivem Wärmeausdehnungskoeffizienten zu kompensieren.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung wird das erste Teilelement als Hohlkörper, insbesondere in Form einer Hülse, ausgebildet. Damit kann ein einfacher Mechanismus zur Kompensation von Längenveränderungen der Verbindungselemente und Antastformelemente erhalten werden. Das Befestigungselement kann bspw. auf dem Verbindungselement oder auch innerhalb des Verbindungselements oder um das Verbindungselement herum angeordnet sein.

Vorzugsweise sind die Verbindungselemente eines Prüfkörpers stabförmig ausgebildet. Damit ist in einfacher Weise eine Kontrolle der Längenveränderungen möglich. Außerdem kann in diesem Fall bereits ein vergleichsweise grobes Positionieren der Verbindungselemente zu relative genauen Positionen der Abtastformelemente zueinander führen.

Vorzugsweise werden die Befestigungselemente so mit den Verbindungselementen verbunden, dass einerseits eine genaue und feste Positionierung erreicht werden kann, andererseits aber auch bei Längendilatationen oder -kontraktionen übermäßige Spannungen oder Sprengeffekte in den Materialien vermieden werden. Das Verbinden kann bspw. durch Verkleben oder Hartlöten erreicht werden.

Vorteilhafterweise sind die Antastformelemente kugelförmig ausgebildet. Die Mittelpunkte oder Schwerpunkte der Antastformelemente, in diesem Fall der Kugeln, können vorteilhafterweise auf den Verlängerungen der Achsen der stabförmigen Verbindungselemente liegen. Die Mittelpunkte der Kugeln können die Antastpunkte bilden. Auf diese Weise kann die relative Position der Antastformelemente bzw. der Antastpunkte mit hoher Genauigkeit festgelegt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung können die Abschnitte der Befestigungselemente, insbesondere die Endflächen, an denen die Antastformelemente angebracht werden, kegelförmig, vorzugsweise dem Radius der kugelförmigen Antastformelemente angepasst, ausgebildet werden. Dies führt dazu, dass die Positionierungsgenauigkeit der Antastformelemente bezüglich der Befestigungs- und Verbindungselemente weiter gesteigert werden kann.

Es ist von Vorteil, wenn die Antastformelemente und die Befestigungselemente miteinander lösbar verbindbar sind. Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung wird die lösbare Verbindung durch Magnetkräfte realisiert. Hierdurch wird ein Mechanismus zur Verfügung gestellt, der ein besonders einfaches Montieren und Demontieren des Prüfkörpers erlaubt und damit einen vereinfachten Transport des Prüfkörpers an seinen Einsatzort ermöglicht.

Zur Ausbildung der magnetischen Verbindung können die Befestigungselemente Magnete umfassen. Diese können bspw. in dem Befestigungselement verklebt oder angelötet angeordnet sein. Bei dieser Weiterbildung können die Antastformelemente aus magnetischem Material bestehen oder ebenfalls Magnete aufweisen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung aller vorher beschriebenen Prüfkörper ist mindestens ein Antastformelement mit mindestens zwei Verbindungselementen verbunden. Auf diese Weise können Prüfkörper mit verschiedenen Geometrien erhalten werden. Ein mögliches Beispiel ist ein Prüfkörper aus drei Antastformelementen, drei Befestigungselementen und zwei Verbindungselementen, wobei die Antastformelemente in einer Achse liegen und die äußeren Antastformelemente über jeweils ein Verbindungselement mit dem inneren Antastformelement verbunden sind.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung dieses Prüfkörpers bilden die Verbindungselemente die Kanten und die Antastformelemente die Ecken eines Tetraeders. Eine solche Prüfkörpergeometrie erlaubt ein einfaches Aufstellen. Außerdem sind wegen der Tetraederform alle Antastformelemente mit nur einem einzigen Taststift zugänglich.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Beschreibung spezieller Ausführungsbeispiele der Erfindung und der Bezugnahme auf die Zeichnungen. In den Zeichnungen zeigen:

Figur 1 eine (nicht maßstabsgetreue) Querschnittsansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Befestigungselementes mit einem Verbindungs- und einem Antastformelement und

Figur 2 eine (nicht maßstabsgetreue) Querschnittsansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Befestigungselementes mit einem Verbindungs- und einem Antastformelement.

Figur 1 zeigt ein Befestigungselement, das in ein Verbindungselement 11 eingelassen ist. Dazu wurde das Ende des Verbindungselements 11 ausgehöhlt, so dass sich ein Hohlraum 16 bildet. Alternativ kann auch das gesamte Verbindungselement hohl sein.



Das Befestigungselement umfasst einen Hohlkörper in Form einer Hülse 14, ein erstes Teilelement, der am oberen Rand an Stellen 15 mit der Innenseite des Befestigungselements 11 verklebt ist. Diese Verbindung kann sich entweder nur an einigen punktförmigen Stellen befinden oder bspw. um die gesamte Hülse in einem schmalen Bereich am oberen Rand herumlaufen. Je geringer die verklebte Fläche ist, desto weniger Spannungen treten bei Kontraktionen und Dilatationen auf. Innerhalb der Hülse 14 befindet sich ein zweites Teilelement 13, auf dem das kugelförmige Antastformelement 12 mit Antastpunkt P angeordnet ist. Das Teilelement 13 ist an seiner Grundfläche mit dem Boden der Hülse 14 verklebt. Dies kann über eine Schicht 17 erfolgen oder auch nur an einzelnen Punkten. Das Teilelement 13 kann auch an anderen Stellen zusätzlich oder stattdessen und mit anderen Verbindungsvorrichtungen mit der Hülse 14 verbunden werden. Vorzugsweise ist das Teilelement 13 ein Magnet, und das Antastformelement 12 besteht aus einem magnetischem Material. In diesem Fall ist das Antastformelement 12 in einfacher Weise lösbar mit dem Befestigungselement, das in diesem Ausführungsbeispiel die Teilelemente 13 und 14 umfasst, verbunden. In diesem Ausführungsbeispiel können nun sowohl das Verbindungselement 11, das Antastformelement 12, der Magnet 13 als auch das hülsenförmige Teilelement 14 einen positiven thermischen Längenkoeffizienten aufweisen. Bei einer positiven Temperaturänderung erfahren dann alle Materialien eine Längendilatation. Dabei dehnt sich allerdings das hülsenförmige Teilelement 14 entlang der Stabachse 10 in das Verbindungselement 11 hinein aus. Wird nun die Abmessung des hülsenförmigen Teilelements 14 geeignet gewählt, kann hiermit die Ausdehnung der übrigen Elemente kompensiert werden, so dass der Abstand zwischen zwei Antastpunkten im Wesentlichen konstant bleibt. Dieser Kompensierungsmechanismus funktioniert für verschiedene Kombinationen von Wärmeausdehnungskoeffizienten. So kann beispielsweise der Magnet 13 einen verschwindenden Ausdehnungskoeffizienten, das Antastformelement 12 einen positiven und das Verbindungselement 11 einen negativen Ausdehnungskoeffizienten aufweisen, wobei aber eine Ausdehnung des Antastformelementes 12 nur teilweise durch die entsprechende Kontraktion des Verbindungselements 11 kompensiert wird. In dem Ausführungsbeispiel ist es nicht nötig, dass das erste Teilelement, der Hohlkörper 14, am oberen Rand mit dem Verbindungselement 11 verbunden ist. Die Verbindung muss allerdings dergestalt sein, dass eine kompensierende Ausdehnung des Hohlkörpers 14 entlang der Stabachse möglich ist.

In einem alternativen Ausführungsbeispiel, siehe Figur 2, ist das Befestigungselement auf einem Ende des Verbindungselements 21 aufgebracht. In diesem Fall umfasst das Befestigungselement einen äußeren Hohlkörper 28, der mit dem Verbindungselement 21 an den Stellen 29 verklebt ist. Um Spannungen oder Sprengeneffekte zu vermeiden, kann das Verkleben auch nicht mit einer Klebeschicht sondern nur mit einzelnen Klebepunkten erfolgen. Innerhalb des äußeren Hohlkörpers 28 befindet sich ein innerer Hohlkörper 24, wobei zwischen innerem und äußerem Hohlkörper ein Hohlraum 26 verbleibt. Zwischen den Seitenwänden der beiden Hohlkörper kann, anders als in der Figur gezeigt, auch noch ein Zwischenraum sein, so dass sich die Hohlkörper auch in Richtungen senkrecht zur Stabachse 20 ungehindert ausdehnen können. Die beiden Hohlkörper sind über eine Klebeschicht an Stellen 25 miteinander verbunden. Alternativ kann der innere Hohlkörper auch so auf den äußeren Hohlkörper aufgesteckt sein, dass kein Verkleben nötig ist. Innerhalb des inneren Hohlkörpers 24 kann sich ein Magnet 23 befinden, der in dem dargestellten Ausführungsbeispiel über eine Klebeschicht 27 mit dem inneren Hohlkörper 24 verbunden ist. An diesem Magneten 23 ist ein magnetisches Antastformelement 22 mit Antastpunkt P lösbar befestigt.

Im Rahmen der beschriebenen Erfindung sind auch weitere Abwandlungen und verschiedenste Kombinationen der genannten Merkmale möglich.

Patentansprüche

1. Prüfkörper mit mindestens zwei Antastformelementen und mit mindestens einem Verbindungselement zur Verbindung der mindestens zwei Antastformelemente, wobei jedes Verbindungselement mindestens ein Befestigungselement zur Befestigung eines Antastformelements an einem Ende des Verbindungselements aufweist,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
Längenveränderungen der mindestens zwei Antastformelemente und/oder des mindestens einen Verbindungselements durch die entsprechenden Befestigungselemente derart kompensiert werden, dass der Abstand zwischen jeweils zwei Antastpunkten bei Standardmessbedingungen im Wesentlichen konstant ist.
2. Prüfkörper nach Anspruch 1, in welchem jedes Befestigungselement ein Material mit einem positiven oder negativen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten umfasst und die Form und/oder Bemessung jedes Befestigungselements so gewählt ist, dass Längenänderungen jedes Antastformelements und/oder jedes Verbindungselements bei Standardmessbedingungen kompensiert werden.
3. Prüfkörper nach einem der vorangegangenen Ansprüche, in welchem jedes Befestigungselement ein erstes Teilelement aus einem ersten Material und ein zweites Teilelement aus einem zweiten Material umfasst, wobei das Befestigungselement derart an dem Verbindungselement angeordnet ist und die Form und/oder Bemessung der beiden Teilelemente so gewählt ist, dass Längenänderungen jedes Antastformelements und/oder jedes Verbindungselements bei Standardmessbedingungen kompensiert werden.
4. Prüfkörper nach Anspruch 3, in welchem das erste Teilelement als Hohlkörper ausgebildet wird.
5. Prüfkörper nach einem der vorangegangenen Ansprüche, in welchem die Verbindungselemente stabförmig ausgebildet sind.

6. Prüfkörper nach einem der vorangegangenen Ansprüche, in welchem die Antastformelemente kugelförmig ausgebildet sind.
7. Prüfkörper nach einem der vorangegangenen Ansprüche, in welchem die Antastformelemente und die Befestigungselemente miteinander lösbar verbindbar sind.
8. Prüfkörper nach Anspruch 8, in welchem die lösbare Verbindung durch Magnetkräfte realisiert ist.
9. Prüfkörper nach Anspruch 9, in welchem die Befestigungselemente zur Ausbildung der magnetischen Verbindung Magnete umfassen.
10. Prüfkörper nach einem der vorangegangenen Ansprüche, in welchem mindestens ein Antastformelement mit mindestens zwei Verbindungselementen verbunden ist.
11. Prüfkörper nach Anspruch 10, in welchem die Verbindungselemente die Kanten und die Antastformelemente die Ecken eines Tetraeders bilden.

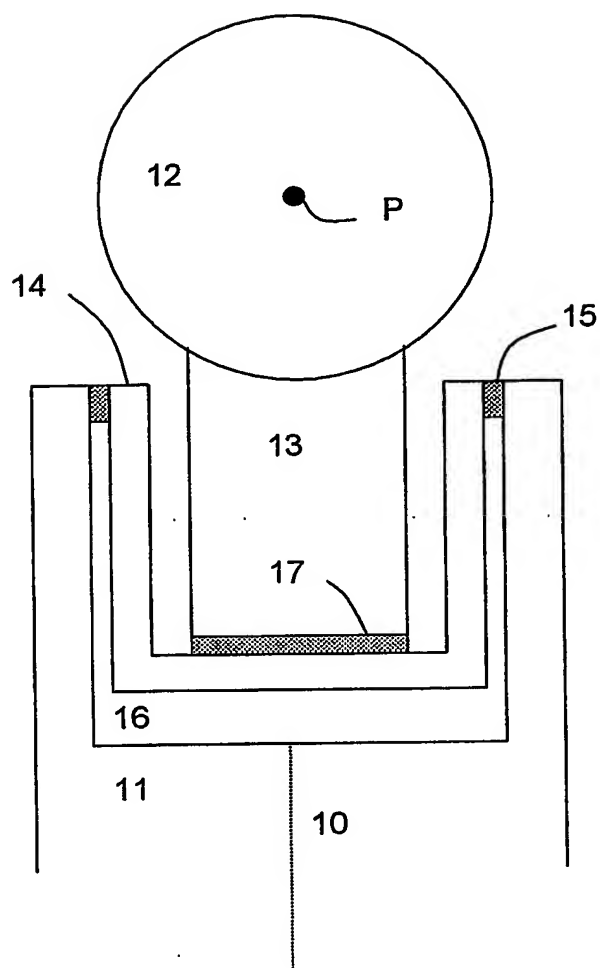


Fig. 1

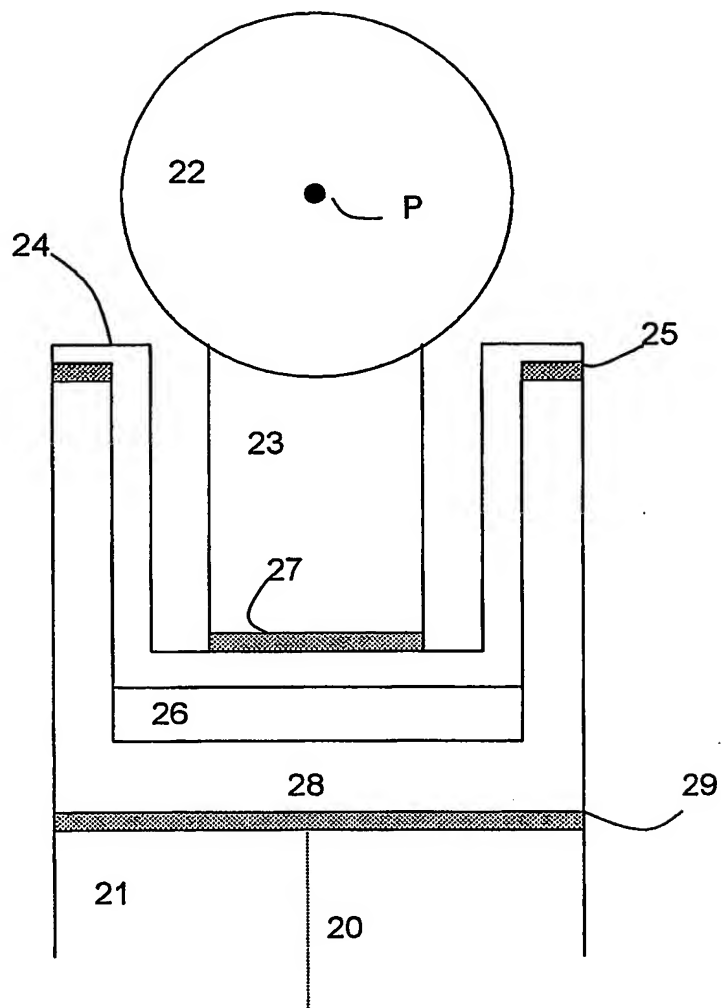


Fig. 2